

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002 年 10 月 10 日 (10.10.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/080276 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 27/12
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/03127
- (22) 国際出願日: 2002 年 3 月 28 日 (28.03.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2001-93227 2001 年 3 月 28 日 (28.03.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8071 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松村 重樹 (MATSUMURA, Atsuki) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県富津市

新富 20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP). 川村 登介 (KAWAMURA, Keisuke) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP). 長竹 洋一 (NAGATAKE, Yoichi) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP). 高山 誠治 (TAKAYAMA, Seiji) [JP/JP]; 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵株式会社 技術開発本部内 Chiba (JP).

(74) 代理人: 石田 敬, 外 (ISHIDA, Takashi et al.); 〒105-8423 東京都港区虎ノ門三丁目 5 番 1 号 虎ノ門 3 7 森ビル 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): KR, SG, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

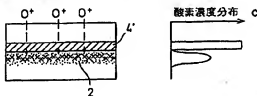
添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

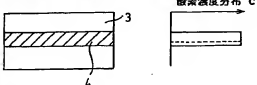
(54) Title: PRODUCTION METHOD FOR SIMOX SUBSTRATE AND SIMOX SUBSTRATE

(54) 発明の名称: SIMOX基板の製造方法およびSIMOX基板

3) 第二回目酸素イオン注入後 A
(高加速電圧使用)



4) 第二回目高温熱処理後 B



A... 3) AFTER SECOND OXYGEN ION IMPLANTATION (HIGH ACCELERATION VOLTAGE USED)

B... 4) AFTER SECOND HIGH-TEMPERATURE HEAT TREATING

C... OXYGEN CONCENTRATION DISTRIBUTION

(57) Abstract: A high-quality SOI substrate increased in BOX layer thickness and a production method therefor, in an SIMOX substrate produced by using a low-dose-region implanting amount as an oxygen ion implanting amount. A production method for an SIMOX substrate which implants oxygen ions into a silicon substrate and then heat treats it at high temperature to form a buried oxidized layer and a surface silicon layer, wherein after forming a buried oxidized layer by a high-temperature heat treating after oxygen ion implantation, the step of performing another oxygen ion implantation so that the maximum position of an implanted oxygen distribution is disposed below the interface between the buried oxidized layer formed by then and the substrate below that layer and then performing high-temperature heat treating is repeated; and an SIMOX substrate having a surface silicon layer thickness of at least 10 nm and up to 400 nm, and a buried oxidized layer thickness of at least 60 nm and up to 250 nm.

[続葉有]

WO 02/080276 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

本発明は、非ペプチド性生理活性物質と有機酸と生体適合性有機溶媒からなる医薬用溶液に関し、非ペプチド性生理活性物質を高濃度に溶解せしめた医薬用溶液を提供する。

明 細 書

SIMOX 基板の製造方法およびSIMOX 基板

技術分野

本発明は、シリコン基板の表面近傍に埋め込み酸化層を配し、その上に表面単結晶シリコン層（以下SOI（Silicon-on-insulator）層とする）を形成させたSOI 基板に関する。

背景技術

シリコン酸化物のような絶縁物上に単結晶シリコン層を形成するSOI 基板としては、SIMOX（Separation by IMplanted OXygen）ウェハと貼り合わせウェハが主として知られている。SIMOX ウェハは、酸素イオンのイオン注入によって単結晶シリコン基板内部に酸素イオンを導入し、引続き行われるアニール処理によってこれら酸素イオンとシリコン原子を化学反応させて、埋め込み酸化層（以下、BOX（Buried Oxide）層とする）を形成させることによって得られるSOI 基板である。一方、貼り合わせウェハは、2枚の単結晶シリコンウェハを酸化層をはさんで接着させ、2枚のうち片方のウェハを薄膜化することによって得られるSOI 基板である。

これらSOI 基板のSOI 層に形成されたMOSFET（Metal-oxide-Semiconductor field effect transistor）は、高い放射線耐性とラッチアップ耐性を持ち、高信頼性を示すことに加えて、デバイスの微細化にともなうショートチャネル効果を抑制し、かつ低消費電力動作が可能となる。また、デバイス動作領域が静電容量的に基板自体から絶縁されるため、信号伝達速度が向上し、デバイスの高速動作が実現できる。これらの理由により、SOI 基板は次世代MOS-LSI 用

の高機能半導体基板として期待されている。

これらSOI 基板のうち、SIMOX ウェハは、SOI 層の厚さ均一性に特に優れるという特徴を有している。SIMOX ウェハにおいては、SOI 層として $0.4\mu\text{m}$ 以下の厚さが形成可能であり、 $0.1\mu\text{m}$ 前後、さらにそれ以下の厚さのSOI 層も良好に厚さ制御可能である。特に、厚さ $0.1\mu\text{m}$ 以下のSOI 層は、完全空乏型動作のMOS-LSI 形成に適用されることが多く、その場合、SOI 層自体の厚さがMOSFET動作のしきい値電圧と比例関係があることから、性能の揃ったデバイスを歩留良く作製するには、SOI 層の厚さ均一性が重要な品質となる。その観点から、SOI 層厚均一性に優れるSIMOX ウェハは、次世代MOSFET用基板として期待されている。

SOI 基板上に作製したMOS-LSI は、そのデバイス形成領域が、絶縁体であるBOX 層を介することにより、基板本体と電気的に絶縁されることから、前で述べたような放射線耐性やラッチアップ耐性の向上や、低消費電力動作、超高速動作などの優れた特性が実現できる。そのため、BOX 層には電氣的絶縁性がより完全であることが要求される。具体的には、BOX 層におけるリーク欠陥（以後、ピンホール欠陥とする）が極力少なく、絶縁耐圧が熱酸化層と同等の特性により近いことが要求される。

SIMOX 基板の作製においては、通常、単一の加速エネルギー、典型的には 200kV 程度の加速電圧を用いて酸素イオンの注入が行われるが、その場合、酸素イオンの注入量が $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 以上の領域か、 $2.5 \sim 4.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ の範囲の限られた領域のいずれかの場合においてのみ、高温熱処理後に得られるSIMOX 構造において、連続かつ均一な品質良好なBOX 層が得られることが良く知られている（例えば、S.Nakashima and K.Izumi, Journal of Materials Research、第8巻、523頁（1993年））。これらの酸素イオン注入量を用いて

作製されたSIMOX 基板は、慣例的に、前者の酸素イオン注入量領域を用いて作製されたものが高ドーズSIMOX 基板、後者の酸素イオン注入量領域を用いて作製されたものが低ドーズSIMOX 基板と呼ばれている。

高ドーズSIMOX 基板と低ドーズSIMOX 基板にはそれぞれ特徴があり、それに応じて使い分けられている。これらのうち、低ドーズSIMOX 基板は、酸素イオン注入量が比較的少ないことから、SOI 層の貫通転位密度が低減されており、かつ低コストが実現可能な技術として期待されている。しかしながら、低ドーズSIMOX 基板はBOX 層が薄いことにより、BOX 層におけるピンホール欠陥の発生頻度が高い、BOX 層の絶縁耐性が不十分となる確率が高い、といった問題があった。低ドーズSIMOX 基板におけるこれらの品質に関しては、酸素イオンの注入量を単純に増加させることによりBOX 層を厚くしようとすると、ピンホール欠陥は減少するものの、BOX 層の内部に粒状のシリコン含有物（以下、シリコン島とする）が数多く発生するようになり、結果としてBOX 層の絶縁耐圧は低下してしまう。一方、酸素イオンの注入量を減少させると、上述のシリコン含有物は減少し、BOX 層の絶縁耐圧は向上するものの、ピンホール欠陥の密度は、酸素イオン注入量の低減に従って、増加してしまうことが指摘されている。従って、従来の技術による低ドーズSIMOX 基板において、これらのBOX 層の品質を同時に改善することは非常に困難であった。

この低ドーズSIMOX 基板のBOX 層の品質改善に寄与する技術としては、高温での内部酸化（Internal Thermal Oxidation Process、以下ITOX技術と略する）を利用する技術が発案されている（中嶋ら、特開平07-263538号公報、あるいは、S.Nakashimaほか、Journal of Electrochemical Society、第143巻、244頁）。ITOX技術によれ

ば、高温での酸化処理により基板表面に熱酸化層が成長すると同時に、BOX 層の上部界面にも若干量の酸化膜成長が生じ、BOX 層の厚膜化が可能となる。またその結果として、ピンホール欠陥の低減、絶縁耐圧の改善の双方が可能となることが報告されている。しかしながら、ITOX技術においてはBOX 層における層厚の増分の10倍以上の表面酸化層成長が必要となるため、最終的に得られるSIMOX 構造において所定のSOI 層を確保するためには、その基板表面の酸化量を制限する必要がある、結果としてBOX 層の増分にも自ずと制約が生じていた。

この制約を受けずにSIMOX 基板のBOX 層を厚くする方法としては、平均注入深さを段階的あるいは連続的に変化させながら一連の酸素イオン注入を行い、その後高温熱処理を行う方法において、一連の酸素イオン注入後に加算累積した注入酸素分布がシリコン島が発生しないような条件範囲となるように制御し、さらに高温熱処理後に単一のBOX 層が形成されるようその分布が単一のピークを有するよう制御することが提案されている（特開平7-201975号公報）。この手法によれば、単一の加速電圧を用いて酸素イオン注入を行った場合には良好なBOX 層を得ることができない、いわゆるドーズウィンドウの外側のドーズ条件でも、品質良好なBOX 層を得ることが原理的には可能となる。しかしながら、BOX 層中のシリコン島を防止するためには、注入酸素分布のピーク値を、シリコン化合物の酸素濃度 $4.48 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ の約半分である $2.25 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする必要がある一方で、プロセス条件変動などにより、一連の酸素イオン注入後の注入酸素分布にピークが複数発生したりすると、高温熱処理時にそれぞれのピークを中心として析出が発生し、単一のBOX 層が得られないといった不安定さを合わせ持っているため、それを回避するために、厳密かつ微妙な制御が必要との問題があった。

一方、酸素イオン注入と高温熱処理を繰り返す技術としては、高ドーズSIMOX 基板の品質改善を目的として、同一の加速エネルギーでの酸素イオン注入と、高温熱処理を繰り返す技術が提案されている（特開平1-17444号公報）。これは、必要となるドーズ量を複数回に分割して注入することにより、各回の注入時に基板に導入されるダメージを低減し、それをその都度高温熱処理を実施することにより回復させることにより、最終的に得られるSOI 層中の貫通転位などの欠陥を低減することを目的としている。この手法では、高ドーズSIMOX 基板製造用に従来用いてきた酸素イオン注入量を分割して注入するものであり、最終的に得られるBOX 層の厚さには変化をもたらさない。また、この手法を用いると、中間段階で形成されるBOX 層に顕著なうねりが発生し、その影響で、最終的に得られるBOX 層の界面平坦性が劣化するといった問題点も指摘されている。

この問題を回避する方法として、注入を二回とし、二回目の注入時に一回目の注入よりも低い加速エネルギーを用いることにより、一回目の熱処理後に形成されたBOX 層とSOI 層の界面部分に重点的に酸素イオンを注入し、その界面の平坦度を改善することを目的とした提案もなされている（特開平4-249323号公報）。しかしながら、これも高ドーズSIMOX 基板の品質改善を目的とした発明であり、前例同様、高ドーズSIMOX 基板製造用に従来用いてきた酸素イオン注入量を分割して注入するため、最終的に得られるBOX 層の厚さには変化をもたらさない。さらに、一度形成されたBOX 層の上側に二度目の酸素イオン注入を実施するため、最終的に得られるSOI 層は薄くなる傾向にある。そのため、SOI 層の厚さを確保しながら、BOX 層厚さを増加させるには不向きな技術である。

本発明では、SIMOX 基板の埋め込み酸化層を、これらの困難さを伴うことなく厚くすることを可能とする技術を提供することを目的

とする。特に、酸素イオン注入量として低ドーズ領域の注入量を用いて作製するSIMOX 基板において、品質良好にBOX 層厚を増加させることを可能とすることにより、高性能LSI 用の高品質SOI 基板およびその製造方法を供することを目的とする。

発明の開示

単結晶シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことによりSOI 構造を形成するSIMOX 法において、高温熱処理により一旦BOX 層を形成した後に、そのBOX 層よりも深い位置に再度酸素イオンを注入し、再び高温熱処理を行うと、SOI 層の厚さならびに結晶性を維持し、かつ、BOX 層中のシリコン島の発生を抑制したまま、BOX 層の厚さを増加させることが可能となることを我々は新たに見いだした。すなわち、本発明は、上記課題を解決するためのSOI 基板の製造方法、さらにはそれらの技術を用いて製造したSOI 基板に関するものであり、以下に述べる手段による。

すなわち、シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、BOX 層およびSOI 層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に、高温熱処理を実施してBOX 層を形成した後に、さらに酸素イオン注入を、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されているBOX 層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるようにして実施し、その後高温熱処理を実施することを繰り返すことを特徴とする。

また、前記のSIMOX 基板の製造方法において、さらに実施する酸素イオン注入ドーズ量が、それまでに行われた酸素イオン注入のドーズ量合計を超えないことを特徴とする。

また、前記のSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入に用いる加速エネルギーと、さらに実施する酸素イオン注入に用いる

加速エネルギーが異なることを特徴とする。

また、前記のSIMOX 基板の製造方法において、さらに実施する酸素イオン注入の前に、既に形成されているSOI 層の表面を一部除去することを特徴とする。

また、前記SOI 層表面の除去方法が、反応性物質を用いたエッチングであることを特徴とする。

あるいは、前記SOI 層表面の除去方法が、基板表面を酸化して酸化層を形成した後、該酸化層を除去する方法であることを特徴とする。

あるいは、前記SOI 層表面の除去方法が、表面研磨であることを特徴とする。

また、前記のSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入と高温熱処理の繰り返し回数が2回であることが好ましい。

また、上述のいずれかのSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入の前にシリコン基板表面にあらかじめ酸化層を形成しておき、その酸化層を酸素イオン注入後もしくは高温熱処理後に除去することが好ましい。

また、前記のSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入が加速エネルギー150keV以上250keV以下、ドーズ量 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以下の条件で、さらに実施する酸素イオン注入が加速エネルギー150keV以上250keV以下、ドーズ量 $0.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以下の条件であると共に、シリコン表面の除去深さの合計が20nm以上 300nm以下であることが好ましい。

また、上述のいずれかの方法で製造されたSIMOX 基板であって、該SIMOX 基板のSOI 層の厚さが10nm以上 400nm以下、BOX 層の厚さが60nm以上 250nm以下であることを特徴とするSIMOX 基板である。

本発明によれば、酸素イオン注入および高温熱処理により、従来

の低ドーズSIMOX 同様のBOX 層が一旦製造される。そのため、さらに実施される酸素イオン注入による注入酸素が、引き続き実施される高温熱処理において析出する際には、既に形成されているBOX 層が存在するため、そのBOX 層に吸収されることにより安定した析出がなされ、結果として単一のBOX 層を安定して得ることが可能となる。また本発明ではBOX 層の厚膜化と同時にBOX 層中のピンホール欠陥密度についても低減することも可能となる。

図面の簡単な説明

図 1 は、従来の技術によるSIMOX 基板の製造工程 1)、2) と、各工程におけるシリコン基板の模式断面および、その酸素濃度分布を示す図である。

図 2 は、本発明の第一の実施の形態によるSIMOX 基板の製造工程 3)、4) と各工程におけるシリコン基板の模式断面および、その酸素濃度分布を示す図である。

図 3 は、本発明の第二の実施の形態によるSIMOX 基板の製造工程 3)、4)、5) と各工程におけるシリコン基板の模式断面および、その酸素濃度分布を示す図である。

図 4 は、本発明の第三の実施の形態によるSIMOX 基板の製造工程 3)、4)、5)、6) と各工程におけるシリコン基板の模式断面および、その酸素濃度分布を示す図である。

図 5 は、本発明の第一～第三の実施例と従来例、比較例におけるBOX 層のピンホール欠陥密度を比較したグラフである。

図 6 は、本発明の第一～第三の実施例と従来例、比較例におけるBOX 層の絶縁破壊耐圧を比較したグラフである。

図 7 は、本発明の第一～第三の実施例と従来例、比較例におけるSOI 層の欠陥密度を比較したグラフである。

発明を実施するための最良の形態

本発明による実施の好ましい形態を図1～4の模式断面図を用いて説明する。

本発明の実施の形態におけるSIMOX基板の製造工程の前半部分は、図1に示した従来技術によるSIMOX基板の製造工程を用いている。図1に示した工程においては、1)単結晶シリコン基板1をイオン注入機に搭載し、基板をその結晶性が維持されるよう加熱しながらその表面に酸素イオンを所定のドーズ量まで注入を実施し、酸素イオン注入領域2'を形成する。続いて、基板をイオン注入機から取り出し、2)熱処理炉にて高温熱処理を施し、SOI層3'とBOX層4'を有するSIMOX構造を形成する。尚、所定のドーズ量としては、例えば、酸素イオン注入の加速電圧として150kV以上250kV以下を用いて低ドーズ領域でのSIMOX基板を形成する場合、良好な品質のBOX層を得るためには、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以下のドーズ量を用いることが望ましい。本明細書の説明においては、上記の酸素イオン注入、高温熱処理をそれぞれ一回目の酸素イオン注入、一回目の高温熱処理とする。

図2に示した本発明における第一の実施の形態においては、図1の工程が完了した後、基板を再度、イオン注入機に搭載し、3)酸素イオン注入を、注入酸素イオン分布のピークが既に形成されているBOX層4'の下部に配置されるような加速電圧を用いて実施し、酸素イオン注入領域2を形成する。その後、基板をイオン注入機から取り出し、4)熱処理炉にて高温熱処理を行ない、SOI層3とBOX層4を備えたSIMOX構造を形成する。本明細書の説明においては、上記の酸素イオン注入、高温熱処理をそれぞれ二回目の酸素イオン注入、二回目の高温熱処理とする。

図2の方法によれば、二回目に注入された酸素イオンは、その後
に施される二回目の高温熱処理において、既に形成されているBOX
層4'に対して下側から凝集する。その際、より安定した凝集を
実現するためには、二回目に注入された酸素イオンのドーズ量を一回
目の酸素イオンドーズ量を超えないようにすることが望ましい。そ
の場合、二回目の高温熱処理の際に、二回目に注入された酸素イ
オンが独立して析出することなく、優先的に既に形成されているBOX
層4'に凝集することで析出が進むことになる。また、この第二の
酸素イオン注入から高温熱処理における析出過程はBOX層4'の上
部界面にはほとんど影響することなく進むため、結果としてSOI層
の厚さ均一性は良好に維持されたままBOX層4を厚くすることが可
能となる。

また、良く知られているように、注入されたイオンが被注入材料
に及ぼす損傷は、該イオンが被注入材料中でエネルギーを失って減
速すると共に大きくなる。そのため、そのイオンが被注入材料にも
たらす損傷の度合いは、そのイオンが停止した位置の直上近傍で大
きくなる。図2の方法によれば、二回目のイオン注入において基板
に発生する損傷は、一回目の高温熱処理にて形成されたBOX層4'
の内部もしくはその下部に集中させることができる。そのため、既
に形成されているSOI層3'への、二回目の酸素イオン注入による
新たな損傷発生を抑制することが可能であり、結果として二回目の
高温熱処理後に形成されるSOI層3における貫通転位などの欠陥の
発生を抑制することが可能となる。

図3に示した本発明における第二の実施の形態においては、図1
の工程が完了した後、3) SOI層3'の表面の一部を除去すること
によりSOI層を薄くする。その後、基板を再度、イオン注入機に搭
載し、4) 図2と同様に酸素イオン注入を、注入酸素イオン分布の

ピークが既に形成されているBOX 層 4' の下部に配置されるような加速電圧を用いて実施する。その後、基板をイオン注入機から取り出し、熱処理炉にて高温熱処理を行ない、S0I 層 3 とBOX 層 4 を備えたSIMOX 構造を形成する。

図 3 の方法によれば、図 2 の方法に比べて二回目の酸素イオン注入に用いる加速電圧を、一回目の注入に用いた値からそれほど変更しなくとも所望の位置への酸素イオン注入が可能となる。そのため、使用するイオン注入機の性能範囲にて、二回の注入における加速電圧の組み合わせ自由度が大きくなるため、最終的に得られるS0I 層/BOX 層の厚さの自由度を拡大することが可能となる。またイオン注入機の条件変更に伴う負荷も軽減される。尚、二回目のイオン注入の前に実施するS0I 層表面の一部を除去する方法としては、反応性イオンエッチング、フッ硝酸混合液を用いるエッチング、機械研磨などの手法が適用できる。

図 4 に示した本発明における第三の実施の形態においては、図 1 の工程が完了した後、3) S0I 層 3' の表面に熱酸化層 5 を形成し、4) その後、該酸化層を除去する。この酸化層を除去する方法としては、酸化層のみを溶解する溶剤などを使用できる。続いて、5) 図 2 と同様にイオン注入、6) 熱処理を施し、S0I 層 3 とBOX 層 4 を備えたSIMOX 構造を形成する。この方法においても、第二の実施の形態で説明したのと同様の効果が期待できる。

尚、図 2 ～ 4 に示した本発明における第一～第三の実施例においては、一回目の酸素イオン注入の前にシリコン基板表面にあらかじめ酸化層を形成しておき、一回目の酸素イオン注入、もしくはその直後に実施される高温熱処理後にその酸化層を上記のように溶剤を用いて除去しても良い。また、その場合、表面に形成した酸化層が酸素イオン注入中のスパッタリングにより消失しないためには、そ

の厚さを30nm以上とすることがより望ましい。一方、高温熱処理後にS0I層を得るためには、前記表面酸化層厚さは最大でも400nm程度に抑える必要がある。

また、図2～4に示した本発明における第一～第三の実施例では、酸素イオン注入としては合計2回の例を示したが、S0I層が消失しない限りにおいては、S0I層の一部除去とそれに続く酸素イオン注入、および高温熱処理を繰り返し実施しても良い。前述と同様に、酸素イオン注入の加速電圧として150kV以上250kV以下を用い、ドーズ量として $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以下を用いた場合には、S0I層表面もしくはシリコン単結晶表面の除去深さの合計は、本発明の効果をj得るためには20nm以上、S0I層を消失させないためには300nm以下とすることが望ましい。また、その場合に最終的に得られるS0I層の厚さは400nm程度を上限として、それ以下の厚さについては工程条件を調整することにより、S0I層自体が消失しない範囲の任意の厚さが形成可能となる。

また、図2～4に示した本発明における第一～第三の実施の形態においては、BOX層の厚さが増加することにより、BOX層のピンホール欠陥、絶縁耐圧などの品質も改善される。改善の度合いは二回目以降の酸素イオン注入におけるドーズ量の合計が増加するにつれ大きくなるが、これらのBOX層の品質において明確な改善効果を得るには、二回目以降の酸素イオンのドーズ量の合計が少なくとも $0.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上、より好ましくは $0.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 以上であることが望ましい。

また、本発明における酸素イオン注入を実施する装置に関しては、酸素イオンに電圧を印加して加速させた後に、シリコンウェハの表面から注入することが可能であれば良く、その装置形態、イオン注入方式などについては特に限定するものではない。

また、本発明のSIMOX 基板製造における一回目の酸素イオン注入条件については、低ドーズ領域での条件を既に示したが、特にこれに限定されるものではなく、それよりドーズ量の多い、いわゆる中ドーズ領域あるいは高ドーズ領域の条件を用いても良いが、BOX 層厚膜化、ピンホール欠陥や絶縁耐圧などのBOX 品質改善の観点からは、それらの改善要求度合いが大きい低ドーズ領域の条件を用いた場合に本発明を適用すると、より大きな効果が期待できる。また、一回目の酸素イオン注入、第二回目以降の酸素イオン注入のそれぞれを複数回に分けて実施しても良い。SOI 層の結晶欠陥低減の観点からは、少なくとも一回目のイオン注入中の基板温度は 500℃～600℃ 程度の温度とすることが望ましい。

高温熱処理を行う装置に関しては、所望の温度での熱処理が所望の時間実施可能であれば、特に限定されるものではない。好ましく用いられる装置としては、代表的には、高温熱処理炉が挙げられるが、処理温度、処理時間などの性能が満足されれば、ランプアニール炉でも処理可能である。熱処理炉での処理温度、処理時間以外の条件、例えば、挿入温度、昇温速度、降温速度、などについては特に制限はなく、また、昇温、降温を複数段としても良い。

高温熱処理条件については、注入がもたらすダメージを除去し、品質良好なSOI 構造を得るためには、1300℃以上シリコンの融点未満の温度を用いるのが望ましいが、特にこれに限定されるものではない。雰囲気は不活性ガスを用いた非酸化性雰囲気、もしくはそれに微量の酸素を添加した雰囲気がダメージ除去には望ましいが、特にそれに限定されるものではなく、酸化性雰囲気でも良い。不活性ガスとしては代表的にはアルゴン、窒素などが用いられるが、特にこれらに限定されるものではない。またこの高温熱処理に引き続き、高温酸化処理を施しても良い。

実施例

本発明による実施例を以下に図1～4の模式断面図を用いて説明する。

図1に示した工程に従って、P型の(100)シリコン基板の表面に、酸素イオンを加速電圧 180kVにて注入量 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ まで注入を実施した。注入時の基板温度は結晶性維持の観点から 600℃を用いた。続いて、基板をイオン注入機から取り出し、熱処理炉にて1300℃以上の温度にて6時間の熱処理を施し、SIMOX構造を形成した。熱処理はアルゴンに1%以下の酸素を混合した雰囲気にて行った。炉から取り出した基板の構造を分光エリプソメトリにて評価したところ、SOI層の厚さは約340nm、BOX層の厚さは85nmであった。

図2に示した本発明における第一の実施の形態による第一の実施例においては、図1の工程が完了した後、基板を再度、イオン注入機に搭載し、酸素イオンを加速電圧 210kVにて注入量 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ まで注入を実施した。注入時の基板温度は一回目の注入と同様に、600℃を用いた。この後、基板をイオン注入機から取り出し、熱処理炉にて1300℃以上の温度にて6時間、アルゴンに1%以下の酸素を添加した雰囲気にて熱処理を行った。熱処理後、炉から取り出したサンプルを前述と同様に分光エリプソメトリにて評価したところ、SOI層の厚さが約280nm、BOX層の厚さは130nmであった。

図3に示した本発明における第二の実施の形態による第二の実施例においては、図1の工程が完了した後、SOI層表面を弗硝酸混合溶液を用いて、約120nmの深さまでエッチングを行い、SOI層厚を約200nmとした。その後、基板を再度、イオン注入機に搭載し、酸素イオンを加速電圧 190kVにて注入量 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ まで注入を実施した。注入時の基板温度は一回目の注入と同様に、600℃を用いた。

。その後、基板をイオン注入機から取り出し、熱処理炉にて1300℃以上の温度にて6時間、アルゴンに1%以下の酸素を添加した雰囲気にて熱処理を行った。熱処理後、炉から取り出した基板を前述と同様に分光エリプソメトリにて評価したところ、SOI 層の厚さが約160nm、BOX 層の厚さは130nmであった。

図4に示した本発明における第三の実施の形態による第三の実施例においては、図1の工程が完了した後、SOI 層表面に約270nmの厚さの熱酸化層を1000℃以上の温度で形成し、その後、弗酸溶液を用いて酸化層を除去した。その結果、SOI 層としては約220nmの厚さが残された。その後、第二の実施例と同様の条件にてイオン注入、熱処理を施した。最終的に得られた各層の厚さは、SOI 層の厚さが約160nm、BOX 層の厚さは130nmであった。

得られたサンプル基板について、BOX 層の品質を比較評価した。評価に当たっては、上記の三通りの実施例のサンプルの他、図1の工程にて製造した従来例、また、図1の工程にて酸素イオン注入を、実施例における注入総量と同じ $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ の注入量にて実施した比較例も合わせて評価した。

BOX 層のピンホール欠陥については、銅電析法により評価した。サンプルは銅イオンを含むメッキ液に基板表面のみが接触するように浸し、基板裏面を電気陰極に接触させ、メッキ液中に電気陽極を配置した。その後、両電極間に、BOX 層自体は破壊しない10V程度の低電圧を印加することにより、BOX 層にピンホールのある部分の直上の基板表面に銅電析物を発生させ、その数を計数することによりBOX 層中のピンホール密度を評価した。図5に従来例、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例、比較例の各サンプルにおけるピンホール密度を示す。従来例に比較して、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例、および比較例においてはピンホール密度が

ほぼ 1 / 5 に低減されており、酸素注入量総計の増加にともなってピンホール数が減少していることが分かった。

続いて、各サンプルのBOX 層の耐圧評価を行った。リソグラフィおよびエッチングによりSOI 層を 1 mm^2 の面積に分割し、その表面にAl電極を真空蒸着により形成した。もう一方の電極として基板裏面にAu膜を真空蒸着により形成した。Al電極と基板裏面のAu電極間に電圧を加えることによりBOX 層に電界を印加し、その際に流れる電流を測定することにより、BOX 層の破壊電界を評価した。尚、電界値は両電極間に印加した電圧をBOX 層厚で除することにより算出した。

図 6 に従来例、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例、比較例におけるBOX 層の破壊電界強度を示す。従来例に比べて第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例ではBOX 層の破壊電界強度が向上していることが分かる。一方、第一～第三の実施例と同一のドーズ量にて製造した比較例においては、BOX 層の絶縁耐圧特性が従来例よりも低下していることが分かった。これは、単純に酸素イオンのドーズ量を増加させたことにより、BOX 層中のシリコン島が増加し、かえって絶縁耐圧を低下させたものと考えられる。

図 7 にはエッチピットにより評価した、各サンプルのSOI 層の欠陥密度を示す。従来例と比較して、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例においては、イオン注入が追加されているにもかかわらず、欠陥密度が同じレベルに抑えられていることが分かる。一方、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例と同じ量の酸素イオンを一度に注入した比較例では、SOI 層の欠陥密度が 2 桁増加しており、注入イオン量の増加に伴ってダメージ量が増加していることが示されている。この結果は、第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例においては、二回目の酸素イオン注入が一回目の熱処理に

より形成されたBOX 層の下側に施されるため、その際に発生するダメージの大半はBOX 層の内部もしくはその下部に導入される結果、最終的に得られるSOI 層への欠陥生成の影響が低減されたとして理解できる。

以上の結果を総合すると、本発明を用いた第一の実施例、第二の実施例、第三の実施例においては、従来例と比較してBOX 層の厚膜化がなされ、BOX 層のピンホール低減、絶縁耐圧向上が実現されている一方、SOI 層の欠陥の増加は、酸素イオン注入量を増加したにもかかわらず、抑制されていることが分かる。

産業上の利用可能性

以上に説明したように、本発明によれば、SIMOX 基板の製造において、従来の技術により製造されたSIMOX 基板に対し、追加の酸素注入を、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されているBOX 層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるようにして実施し、その後高温熱処理を施すことにより、従来法により製造されたSIMOX 基板に比べ、厚いBOX 層を高品質に製造することが可能となる。

請 求 の 範 囲

1. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、さらに酸素イオン注入を、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

2. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、さらに酸素イオン注入を、その酸素イオン注入ドーズ量がそれまでに行われた酸素イオン注入のドーズ量の合計を超えないようにし、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

3. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、さらに酸素イオン注入を、前の酸素イオン注入に用いた加速エネルギーとこの酸素イオン注入に用いる加速エネルギーとが異なるようにし、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を

実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

4. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、さらに酸素イオン注入を、その酸素イオン注入ドーズ量が、それまでに行われた酸素イオン注入のドーズ量の合計を超えないようにすると共に、前のイオン注入に用いた加速エネルギーとこの酸素イオン注入に用いる加速エネルギーとが異なるようにして、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

5. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、既に形成されている表面シリコン層の表面を一部除去し、さらに酸素イオン注入を、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

6. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、既に形成されている表面シリコン層の表面を一部除去し、さらに酸素イオン注入を、その酸素イオン注入ドーズ量がそれまでに行われた酸素イオン注入のドーズ量の合計を超えないようにし、注入酸素分布の最大位置がそれまでに

形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

7. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、既に形成されている表面シリコン層の表面を一部除去し、さらに酸素イオン注入を、前の酸素イオン注入に用いる加速エネルギーとこの酸素イオン注入に用いる加速エネルギーとが異なるようにし、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

8. シリコン基板に酸素イオンを注入し、その後高温熱処理を施すことにより、埋め込み酸化層及び表面シリコン層を形成するSIMOX 基板の製造方法において、酸素イオン注入後に高温熱処理を実施して埋め込み酸化層を形成した後に、既に形成されている表面シリコン層の表面を一部除去し、さらに酸素イオン注入を、その酸素イオン注入ドーズ量が、それまでに行われた酸素イオン注入のドーズ量の合計を超えないようにすると共に、前のイオン注入に用いた加速エネルギーとこの酸素イオン注入に用いる加速エネルギーとが異なるようにして、注入酸素分布の最大位置がそれまでに形成されている埋め込み酸化層とその下部の基板との界面よりも下側に配置されるように実施し、その後高温熱処理を実施することを特徴とするSIMOX 基板の製造方法。

9. 前記表面シリコン層表面の除去方法が、反応性物質を用いたエッチングで除去するか、あるいは、基板表面のシリコンを酸化し

て酸化膜を形成した後、当該酸化膜を除去するか、あるいは、表面研磨で除去するかのいずれか1つの方法であることを特徴とする請求の範囲第5項に記載のSIMOX 基板の製造方法。

10. 前記表面シリコン層表面の除去方法が、反応性物質を用いたエッチングで除去するか、あるいは、基板表面のシリコンを酸化して酸化膜を形成した後、当該酸化膜を除去するか、あるいは、表面研磨で除去するかのいずれか1つの方法であることを特徴とする請求の範囲第6項に記載のSIMOX 基板の製造方法。

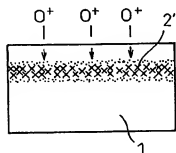
11. 前記表面シリコン層表面の除去方法が、反応性物質を用いたエッチングで除去するか、あるいは、基板表面のシリコンを酸化して酸化膜を形成した後、当該酸化膜を除去するか、あるいは、表面研磨で除去するかのいずれか1つの方法であることを特徴とする請求の範囲第7項に記載のSIMOX 基板の製造方法。

12. 前記表面シリコン層表面の除去方法が、反応性物質を用いたエッチングで除去するか、あるいは、基板表面のシリコンを酸化して酸化膜を形成した後、当該酸化膜を除去するか、あるいは、表面研磨で除去するかのいずれか1つの方法であることを特徴とする請求の範囲第8項に記載のSIMOX 基板の製造方法。

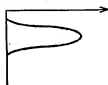
13. 請求の範囲第1項～第12項のいずれか1項に記載の製造方法により製造されたSIMOX 基板であって、該SIMOX 基板の表面シリコン層の厚さが10nm以上、400nm 以下、かつ、埋め込み酸化層の厚さが60nm以上、250nm 以下であることを特徴とするSIMOX 基板。

Fig.1

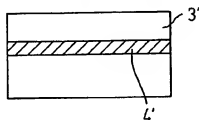
1) 第一回目酸素イオン注入後



酸素濃度分布



2) 第一回目高温熱処理後



酸素濃度分布

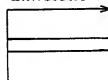
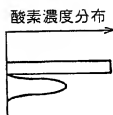
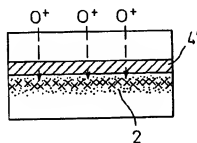


Fig.2

- 3) 第二回目酸素イオン注入後
(高加速電圧使用)



- 4) 第二回目高温熱処理後

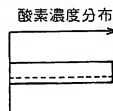
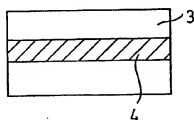
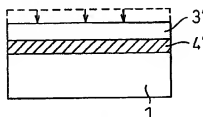
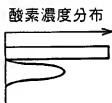
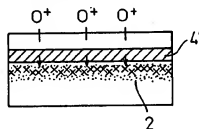


Fig.3

3) SOI層表面エッチング



4) 第二回目酸素イオン注入後



5) 第二回目高温熱処理後

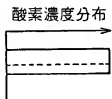
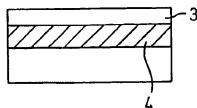
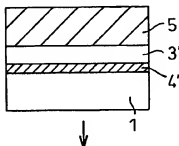
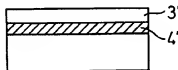


Fig.4

3) 表面酸化層形成



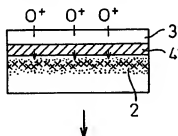
4) 表面酸化層除去後



酸素濃度分布



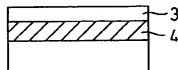
5) 第二回酸素イオン注入後



酸素濃度分布



6) 第二回目高温熱処理後



酸素濃度分布



Fig.5

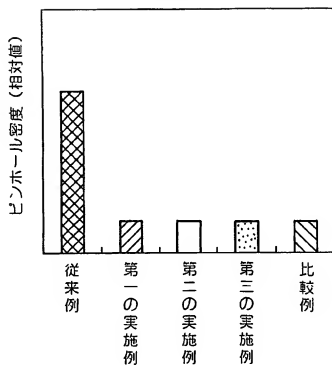


Fig.6

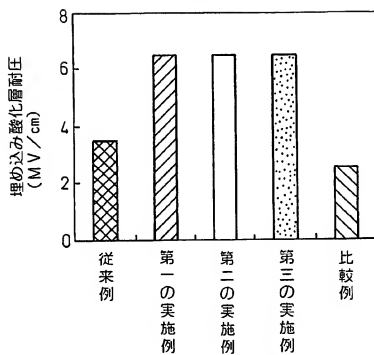
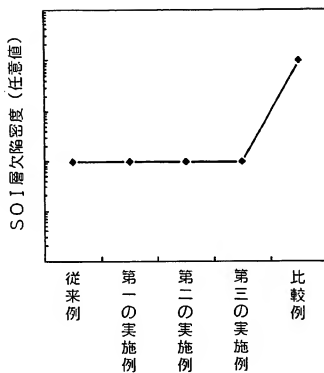


Fig.7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03127

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01L27/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L27/12, H01L21/26-21/268, H01L21/322-21/326, H01L21/70-21-74, H01L21/76-21/765, H01L21/77

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5395771 A (Sharp Kabushiki Kaisha), 07 May, 1995 (07.05.95), Full text; Figs. 1 to 4	1-4
Y	Full text; Figs. 1 to 4 & JP 6-132394 A Full text; Figs. 1 to 3 & US 5514897 A	5-13
X	EP 738004 A1 (Nippon Steel Corp.), 16 October, 1996 (16.10.96), Full text; Figs. 1 to 11	1, 3, 5, 7, 9, 11
Y	Full text; Figs. 1 to 11 & JP 7-201975 A Full text; Figs. 1 to 11 & US 5918151 A & WO 95/18462 A1 & KR 97700374 A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 June, 2002 (10.06.02)Date of mailing of the international search report
25 June, 2002 (25.06.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/03127

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-291543 A (Fujitsu Ltd.), 05 November, 1993 (05.11.93), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1, 3, 5, 7, 9, 11
Y	Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	2, 4, 6, 8, 10, 12, 13
Y	JP 7-335847 A (Nippon Steel Corp.), 22 December, 1995 (22.12.95), Full text; Figs. 1 to 2 (Family: none)	9-13
A	JP 2000-150408 A (NEC Corp.), 30 May, 2000 (30.05.00), Full text; Figs. 1 to 3 & WO 00/13214 A1 & EP 1120819 A1 & KR 2001074887 A	1-13
A	US 4975126 A (Commissariat a l' Energie Atomique), 04 December, 1990 (04.12.90), Full text; Figs. 1 to 5 & JP 64-17444 A Full text; Figs. 1 to 5 & FR 2616590 A & EP 298794 A1 & DE 3888883 C	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H01L27/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H01L27/12, H01L21/26-21/268,
H01L21/322-21/326, H01L21/70-21/74,
H01L21/76-21/765, H01L21/77

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2002年
日本国登録実用新案公報 1994-2002年
日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所に関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	US 5395771 A (Sharp Kabushiki Kaisha) 1995. 05. 07 全文, 第1-4図 全文, 第1-4図 & JP 6-132394 A 全文, 第1-3図 & US 5514897 A	1-4 5-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日目の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 06. 02

国際調査報告の発送日

25.06.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JIP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

萩原 周治



4 L 9835

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
X	EP 738004 A1 (Nippon Steel Corporation) 1996. 10. 16 全文, 第1-11図	1, 3, 5, 7, 9, 11
Y	全文, 第1-11図 & JP 7-201975 A 全文, 第1-11図 & US 5918151 A & WO 95/18462 A1 & KR 97700374 A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 13
X	JP 5-291543 A (富士通株式会社) 1993. 11. 05 全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	1, 3, 5, 7, 9, 11
Y	全文, 第1-6図 (ファミリーなし)	2, 4, 6, 8, 10, 12, 13
Y	JP 7-335847 A (新日本製鐵株式会社) 1995. 12. 22 全文, 第1-2図 (ファミリーなし)	9-13
A	JP 2000-150408 A (日本電気株式会社) 2000. 05. 30 全文, 第1-3図 & WO 00/13214 A1 & EP 1120819 A1 & KR 2001074887 A	1-13
A	US 4975126 A (Commissariat a l' Energie Atomique) 1990. 12. 04 全文, 第1-5図 & JP 64-17444 A 全文, 第1-5図 & FR 2616590 A & EP 298794 A1 & DE 3888883 C	1-13